LEHRERFORTBILDUNG

Den Treibhauseffekt verstehen

In dieser Lehrerfortbildung erkunden die Lehrkräfte den Treibhauseffekt sowie die Rolle der Sonnen- und Infrarotstrahlung.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Teilnehmer äußern ihre Vorstellungen des Treibhauseffektes und suchen anschließend nach einer Möglichkeit, den Treibhauseffekt anhand eines einfachen Experimentes aufzuzeigen.

Die Teilnehmer stellen fest, dass es auf Grundschulniveau bzw. in der Sekundarstufe I kein einfaches Experiment gibt, das den Treibhauseffekt verdeutlicht. Der Treibhauseffekt kann trotzdem in der Schule untersucht werden: zum Beispiel mithilfe einer Analogie, einer Internetrecherche oder eines Versuchs, der die Rolle transparenter Materialien aufzeigt, die für sichtbares Licht durchsichtig, für Infrarotstrahlung aber undurchsichtig sind.

Die Teilnehmer erörtern die Vorteile und Grenzen der verschiedenen Ansätze und vertiefen ihr Verständnis des Treibhauseffektes.

Diese Herangehensweise ist eine gute Gelegenheit, Lehrkräfte naturwissenschaftlicher Fächer in das forschende Lernen einzuführen.

Inhalt

4 Anfängliche Vorstellungen des Treibhauseffektes

5 Experimenteller Nachweis des Treibhauseffektes

8 Experiment zum Nachweis der Infrarotstrahlung

14 Zusammenfassung: Was ist der Treibhauseffekt?

15 Vom Treibhauseffekt zum Klimawandel

16 Mögliche Fortsetzungen

17 Weitere Fortbildungsmaterialien



Lehrerfortbildung
Grundschule und Sekundarstufe I
Dauer: 3 Stunden
+ 1 optionale Stunde

Fächer
Physik, Biologie, Geschichte

Herangehensweise
Experimente
Forschendes Lernen



VISIT…

LANZAROTE
Caliente.com

Allgemeine Bedingungen
Das OCE erlaubt die Nutzung, Vervielfältigung und Verbreitung des in diesem Dokument enthaltenen Lehrmaterials. Soweit nicht anders angegeben, kann das Lehrmaterial für private Zwecke, für Forschungszwecke und Lehrtätigkeiten sowie für jegliche weitere nicht gewerbliche Nutzung kopiert, heruntergeladen und ausgedruckt werden, unter der Bedingung, dass ordnungsgemäß auf das OCE als Verfasser verwiesen wird und die Zustimmung des OCE keinesfalls implizit ist. Sämtliche Anfragen für Übersetzungen, Anpassungen, für eine gewerbliche oder nicht gewerbliche Nutzung müssen über das Kontaktformular auf der Seite des OCE erfolgen oder sind an folgende Adresse zu richten: copyright@oce.global.

Die Informationen zu den vom OCE entwickelten Materialien finden Sie auf www.oce.global.

Datum der Veröffentlichung
Januar 2019

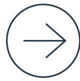
Deutsche Version
September 2020

Fotos
Lionello Del Piccolo (Titelbild)
Nielsen Ramon (Titelbild)
OCE (Seiten 3, 4, 7 und 8)
Quang Nguyen Vinh (Seiten 12 und 16)
Conor Sexton (Seite 13)
Ben White (Seite 15)
Land Rover MENA via Wikimedia Commons (Seite 17)

Layout und Bildgestaltung
Mareva Sacoun

Layout der deutschen Version
Bruno Marie





LEHRERFORTBILDUNG
KURZE ÜBERSICHT

VERFASSER
David Wilgenbus (OCE), Lydie Lescarmontier (OCE), Jean-Louis Dufresne (Laboratoire de Météorologie Dynamique)

ART DES MATERIALS
Schulungsmaterial

ZIELGRUPPE
Lehrkräfte der Primar- und Sekundarstufe I

DAUER
3 Stunden (+ 1 optionale Stunde)

FÄCHER
Physik, Biologie, Geschichte

SCHLÜSSELBEGRIFFE
Treibhauseffekt, Treibhausgas, Kohlenstoffdioxid (CO_2), sichtbares Licht, Infrarotstrahlung, Atmosphäre

PÄDAGOGISCHE HERANGEHENSWEISE
Experimente, forschendes Lernen

LERNZIELE

— Treibhauseffekt
— Konvektion
— Strahlung
— Sichtbares Licht
— Infrarotstrahlung

KOMPETENZERWERB

— Einen Versuch planen
— Die Bedeutung eines Modells verstehen
— Die Gültigkeit und Grenzen einer Analogie erörtern
— Die Ergebnisse in Diagrammen darstellen und auswerten
— Der Ansatz des forschenden Lernens im naturwissenschaftlichen Unterricht



BENÖTIGTES MATERIAL (PRO GRUPPE)

— 3 identische Lampen (mindestens 60 W, wenn möglich 100 W: Glühlampen oder Halogenlampen, keine Energiesparlampen), die auf einem Sockel befestigt sind und sich zum Tisch hin neigen lassen.
(!) Anmerkung: Scheint die Sonne, können die Versuche draußen in der Sonne durchgeführt werden.
— 3 Thermometer
— 2 durchsichtige Behälter (gleiches Volumen, gleiche Form), einer aus Glas und der andere aus Plastik
— Knetmasse
— 1 Infrarotsensor
— 1 Papprolle (z. B. Toilettenpapierrolle)
— Klebeband
— 2 Holzbretter
— 1 Fön
— 2 Tassen
— 1 Wasserkocher
— 1 Müllbeutel
— 1 durchsichtige Plastiktüte (z. B. Gefrierbeutel)
— CO_2-Quelle (fakultativ): CO_2-Kartusche, Kreide + Essig

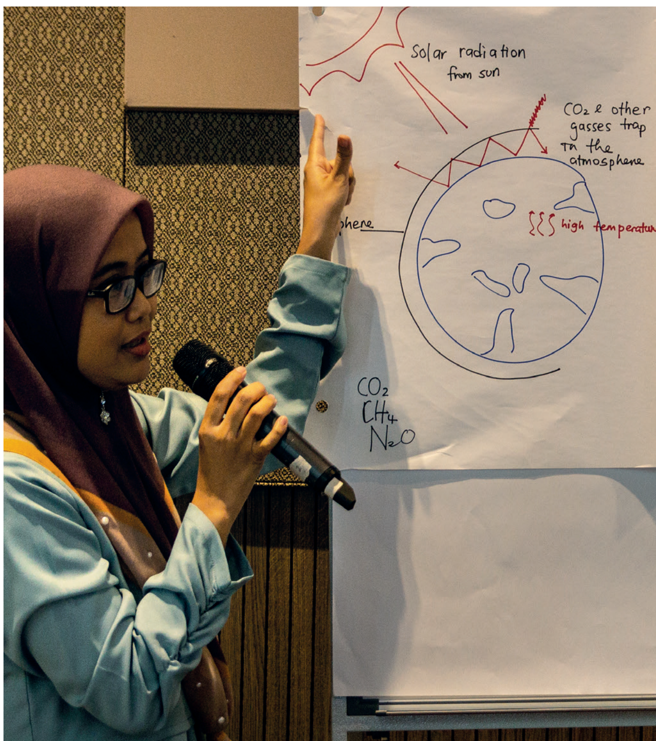
TEIL 1

Anfängliche Vorstellungen des Treibhauseffektes

Die Lehrkräfte sind in kleinen Gruppen eingeteilt (idealerweise vier Personen pro Gruppe). Jede Gruppe soll innerhalb von fünf Minuten **eine Erklärung für den Treibhauseffekt erarbeiten – in Form eines Textes oder einer schematischen Abbildung.**

Jede Gruppe ernennt einen Sprecher, der die Erklärung vorstellt. Anschließend wird gemeinsam über die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verschiedenen „Modelle“ diskutiert.

(!) Zu diesem Zeitpunkt sollte die Ausbilderin die Erklärungsvorschläge auf keinen Fall korrigieren. Es geht noch nicht darum, eine Definition des Treibhauseffektes zu geben oder ihn zu erklären, sondern darum, die Vorstellungen der Teilnehmer zu sammeln.



Die Ausbilderin macht darauf aufmerksam, dass die Art, wie die Vorstellungen vorgetragen werden (mündlich, schriftlicher Text, schematische Darstellung usw.), eine wichtige Rolle spielt. Es kommt häufig vor, dass eine Person, die mündlich ihren Text oder ihre Zeichnung kommentiert, eine andere Erklärung liefert, als die, die in ihrem Text oder ihrer Zeichnung enthalten ist. **Es ist somit nützlich, die schriftlichen Aufzeichnungen explizit kommentieren zu lassen.**

Häufig tauchen in den anfänglichen Vorstellungen der Lehrkräfte ähnliche Fehlvorstellungen auf:

- Der Treibhauseffekt wird mit der Absorption von UV-Strahlung durch Ozon in der Atmosphäre verwechselt. Der Klimawandel wird somit fälschlicherweise mit der Problematik des „Ozonlochs“ verwechselt.
- Häufig wird dargestellt, dass die Erdoberfläche sichtbare Strahlung reflektiert, anstatt dass sie Infrarotstrahlung abgibt.
- Der Treibhauseffekt wird als statischer Mechanismus dargestellt und nicht als dynamischer Prozess, der aus einem Gleichgewicht resultiert.
- Die Lehrkräfte zählen immer Kohlenstoffdioxid als Treibhausgas auf. Manchmal erwähnen sie auch Methan, weitere Treibhausgase werden selten genannt. Das an häufigsten in der Atmosphäre vorhandene Treibhausgas, nämlich Wasserdampf, wird fast nie erwähnt.

Zu diesem Zeitpunkt lässt sich das allgemeine Verständnis des Phänomens wie folgt zusammenfassen: **„Das CO_2 in der Atmosphäre fängt die von der Erdoberfläche abgegebene Wärmestrahlung ein.“**

TEIL 2

Experimenteller Nachweis des Treibhauseffektes

Die Lehrkräfte haben 10 Minuten Zeit, um sich ein Experiment zum Nachweis des Treibhauseffektes im Unterricht auszudenken (unter Verwendung alltäglicher Materialien). Die Vorschläge werden gemeinsam erörtert.

Es werden meistens die folgenden zwei Versuche erwogen:

— **Versuch 1:** Es wird CO_2 in einen durchsichtigen Behälter gebracht. Der Behälter wird verschlossen und einer Lichtquelle ausgesetzt. Als „Kontrolle" dient ein identischer Behälter, der mit Luft gefüllt ist (ohne zusätzliches CO_2).

— **Versuch 2:** Bau eines einfachen Treibhauses aus Glas, das einer Lichtquelle ausgesetzt wird; Nachweis, dass es drinnen wärmer ist als draußen.

Je nach Material und zur Verfügung stehender Zeit können entweder beide Versuche nacheinander oder gleichzeitig durchgeführt werden oder nur einer der beiden Versuche. Wenn nur ein Versuch durchgeführt wird, sollte man Versuch 2 wählen, da er im Unterricht einfacher umzusetzen und zu interpretieren ist.

Die Teilnehmer sollten Folgendes verstanden haben:

— die Wichtigkeit eines Kontrollversuchs;

— dass nur ein Parameter auf einmal variiert werden sollte;

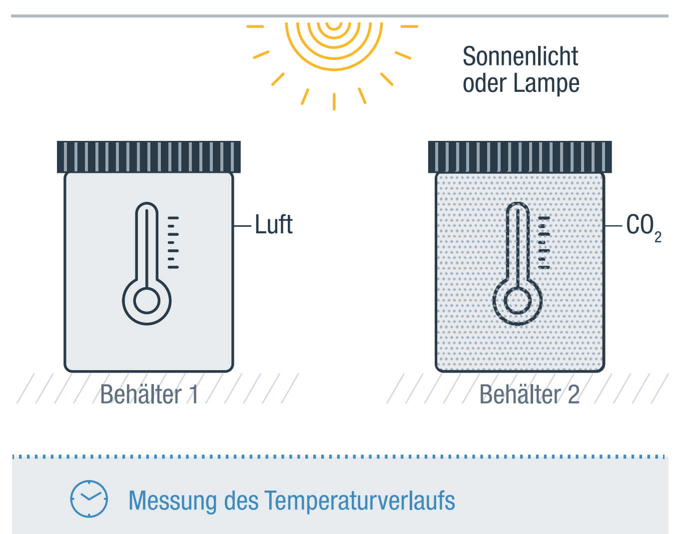
— die Notwendigkeit, Messwerte zu erfassen und die Ergebnisse schriftlich festzuhalten.

VERSUCH 1: DAS TREIBHAUSGAS CO_2 KANN STRAHLUNG ABSORBIEREN UND WIEDER ABGEBEN

Es wäre natürlich schön, wenn man die Wirkung von CO_2 direkt nachweisen könnte. Der hier beschriebene Versuch taucht (mit einigen kleinen Abwandlungen) in Schulbüchern häufig auf. Allerdings ist er, wie wir sehen werden, nicht zufriedenstellend.

Ein geschlossener, durchsichtiger Behälter (im Allgemeinen aus Glas) wird sichtbarer Strahlung ausgesetzt (Lampe oder Sonnenlicht). Neben diesem Kontrollbehälter wird ein weiterer identischer Behälter mit CO_2 befüllt und ebenfalls der gleichen Strahlungsquelle ausgesetzt. Die Herstellung von Kohlenstoffdioxid variiert von einem Versuchsaufbau zum anderen (Kohlenstoffdioxid-Kartusche; Kreide, auf die Essig gegossen wird; Mineralwasser, das entgast wird, usw.).

Nach einer Weile (mindestens 10 Minuten) wird die Temperatur in den beiden Behältern gemessen. Der Behälter mit dem Kohlenstoffdioxid erwärmt sich stärker als der andere.





Der mit CO_2 befüllte Behälter erwärmt sich stärker als der andere.

Anhand dieses Ergebnisses **lässt sich schlussfolgern, dass Kohlenstoffdioxid zu einem Treibhauseffekt führt. Das ist jedoch falsch.**

In diesem Versuch spielen mehrere Phänomene eine Rolle, und die Menge an Kohlenstoffdioxid ist so gering, dass die Wirkung der Strahlung vernachlässigbar ist. Es wird ein Effekt gemessen, es handelt sich dabei aber nicht um den Treibhauseffekt: **Es wurde einfach nachgewiesen, dass sich die thermischen Eigenschaften des Kohlenstoffdioxids (seine Fähigkeit die Wärme zu leiten) von den thermischen Eigenschaften der Luft unterscheiden.**

Dieser Versuch ist allerdings aus pädagogischer Sicht interessant. Die Gruppen können:

- einen Versuchsplan erstellen, der einen Kontrollversuch enthält;
- Messungen durchführen, diese darstellen und interpretieren.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist dieser Versuch jedoch nicht zufriedenstellend: Die Methode ist korrekt, aber in diesem Maßstab handelt es sich bei dem gemessenen Effekt nicht um den erwarteten Effekt.

VERSUCH 2: VERWENDUNG EINES TREIBHAUSES ALS ANALOGIE

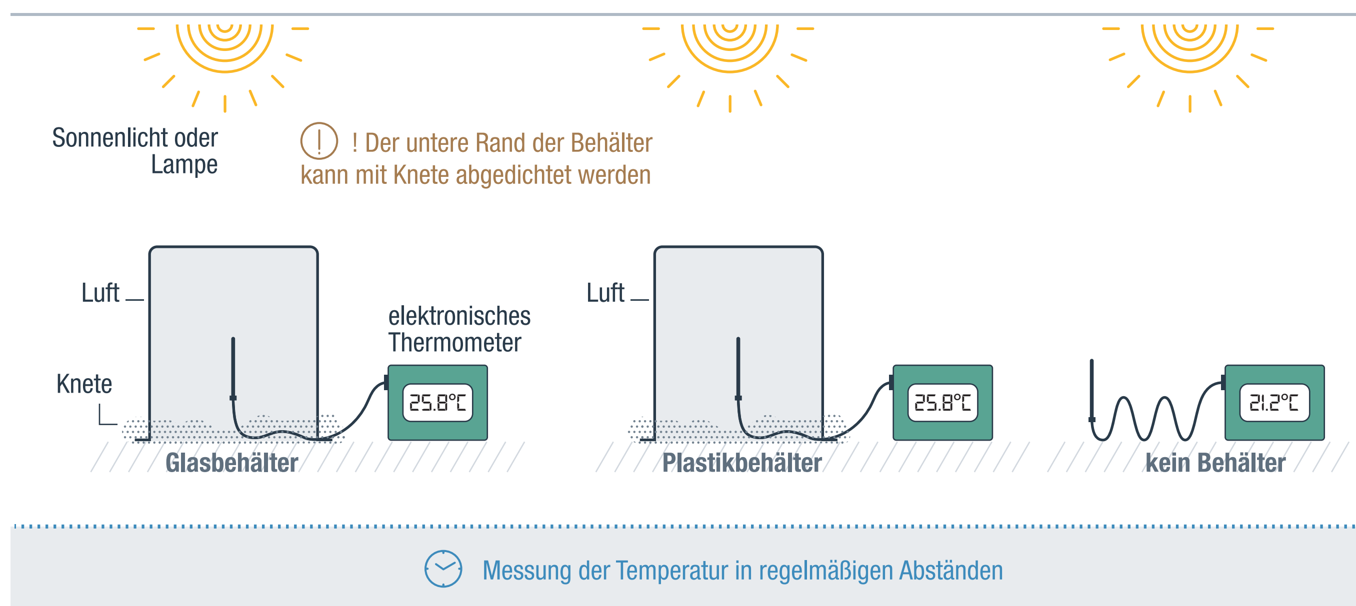
Dieser einfache Versuch (der nicht dem Nachweis, sondern einfach der Darstellung dient) ist unserer Meinung nach interessanter als der vorherige. Hier wird davon ausgegangen, dass die Funktionsweise eines Treibhauses dem Phänomen in der Atmosphäre – dem Treibhauseffekt – ähnelt.

Ein einfaches Treibhaus (ein Behälter aus Glas oder Plastik) wird einer Lichtquelle ausgesetzt. Gleichzeitig befindet sich außerhalb des Treibhauses ein Kontrollthermometer, so dass die Temperaturentwicklung innen und außen verglichen werden kann. Man kann sich außerdem Gedanken zur Rolle des Materials machen, indem man zwei Treibhäuser verwendet, eins aus Glas und das andere zum Beispiel aus Polyethylen (einem durchsichtigen Kunststoff).

Es wird in regelmäßigen Abständen die Temperatur gemessen. Eine Person in der Gruppe sollte für die Messung und die schriftliche Aufzeichnung der Messwerte verantwortlich sein.

Die Lehrkräfte stellen fest, dass es im Treibhaus wärmer ist als draußen.

Als eine mögliche Deutung des Ergebnisses wird vorgeschlagen, dass die Wärme durch die Wände „eingeschlossen" wird. Die Ausbilderin erklärt daraufhin, dass es in der Atmosphäre Gase gibt, die die gleiche Rolle spielen wie der Deckel des Treibhauses. Diese Gase werden aus diesem Grund Treibhausgase genannt. **Wird die Analogie auf diese Weise präsentiert, ist sie für den Unterricht durchaus zufriedenstellend.**




In den Behältern aus Glas und Plastik ist es wärmer.



Auch hier kommen mehrere Effekte zusammen: der Treibhauseffekt sowie das Eingeschlossensein des Gases. Ohne die Abdeckung wird die warme Luft durch Konvektion abtransportiert und durch kältere Luft ersetzt. Es ist daher normal, dass außerhalb des Behälters eine geringere Temperatur angezeigt wird als innerhalb des Behälters – dort wird die Luft nicht ausgetauscht.

Im Übrigen lässt sich zwischen dem Treibhaus aus Glas (in dem theoretisch ein „Treibhauseffekt“ zu beobachten ist, d. h. es wird Infrarotstrahlung absorbiert) und dem Treibhaus aus Polyethylen (in dem es keinen Treibhauseffekt gibt) kaum einen Unterschied feststellen. **Der vorherrschende Effekt ist hier also das Eingeschlossensein.**

(!) An dieser Stelle könnte ein kleiner Exkurs über den schwedischen Physiker und Chemiker Svante Arrhenius eingeschoben werden. Arrhenius prägte den Begriff „Treibhauseffekt“. Bereits zuvor hatte sich der französische Mathematiker und Physiker Joseph Fourier Gedanken über die Temperatur unseres Planeten gemacht und erkannt, welche Rolle dabei die Atmosphäre spielt.

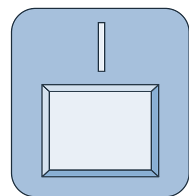
TEIL 3

Experiment zum Nachweis der Infrarotstrahlung

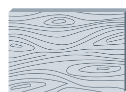
Nach einer gemeinsamen Diskussion über die Vor- und Nachteile der zwei Versuche erklärt die Ausbilderin, **dass es für die Grundschule und die Sekundarstufe I keinen einfachen Versuch gibt, um den Treibhauseffekt von CO_2 nachzuweisen.**

Die Ausbilderin schlägt nun einen neuen Versuch vor, der zwar nicht direkt den Treibhauseffekt zeigt, dafür aber die relevanten Mechanismen veranschaulicht, die beim Treibhauseffekt eine Rolle spielen (Mechanismen, die erstmal weder benannt noch erklärt werden). Die Lehrkräfte versammeln sich alle um einen Versuch, den die Ausbilderin im Vorfeld vorbereitet hat.

MATERIALIEN



INFRAROTSENSOR



Holzbrett



durchsichtige Folie

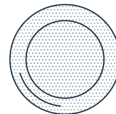
GETESTETE MATERIALIEN
(Beispiele)



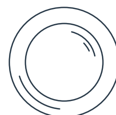
leerer Müllbeutel



Blatt Papier



durchsichtiger Plastikteller



Glasteller



Hand



Tasse mit heißem Wasser

INFRAROTQUELLE



Es ist wichtig, dass sich sämtliche Gegenstände, die bei diesem Versuch zum Einsatz kommen (Bretter, Blätter, Platten, Tassen, Wasser, usw.), bereits mindestens eine Stunde vor Versuchsbeginn dort befinden, wo der Versuch später durchgeführt wird. Das stellt sicher, dass alle Gegenstände Raumtemperatur haben.

Ein Infrarotsensor wird in eine Papprolle gesteckt, die dafür sorgt, dass der Sensor seitlich nichts detektiert. Mit dem Infrarotsensor wird Infrarotstrahlung nachgewiesen bzw. damit kann geprüft werden, ob Materialien Infrarotstrahlung durchlassen oder nicht. Das Holzbrett dient als Schirm: Es bietet einen einheitlichen Hintergrund, auf Raumtemperatur, mit dem der Infrarotsensor geeicht werden kann.

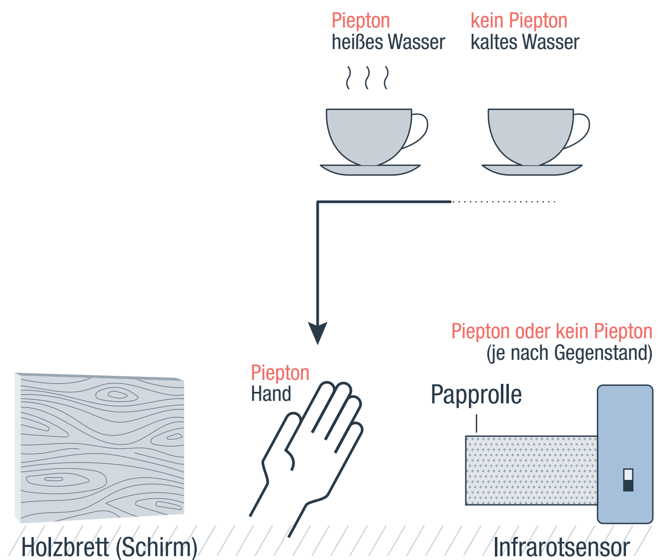
SCHRITT 1: DIE FUNKTIONSWEISE EINES INFRAROTSENSORS VERSTEHEN

1. Die Ausbilderin hält ihre Hand vor den Infrarotsensor: Ein Piepton ertönt. Die Lehrkräfte sollen dieses Geräusch deuten. Die Hand sendet ein „Signal“ an den Sensor. Zunächst ist nicht bekannt, um was für ein Signal es sich handelt.

2. Die Ausbilderin wiederholt den Versuch, indem sie die Hand durch eine Tasse mit heißem Wasser ersetzt (Piepton) und anschließend durch eine Tasse mit Wasser auf Raumtemperatur (kein Piepton). Es scheint, als hinge das Signal mit der Temperatur des Gegenstandes zusammen. Der Sensor reagiert auf die Anwesenheit eines **warmen** Gegenstandes.

3. Die Ausbilderin erwärmt ein Stück Pappe mit einem Fön und platziert es anschließend vor den Sensor. Das Stück Pappe soll hier als Schirm dienen. Nach einigen Pieptönen hört der Sensor auf zu piepen. Das Stück Pappe ist abgekühlt. Der Sensor bemerkt nun auch die Hand nicht mehr, die zwischen ihn und den Schirm geschoben wird, weil zwischen Pappe und Hand kein Temperaturunterschied mehr besteht.

Der Infrarotsensor detektiert nicht warme Gegenstände an sich, sondern Gegenstände, die wärmer sind als ihre Umgebung.





Kalte und warme Gegenstände vor den Infrarotsensor platzieren



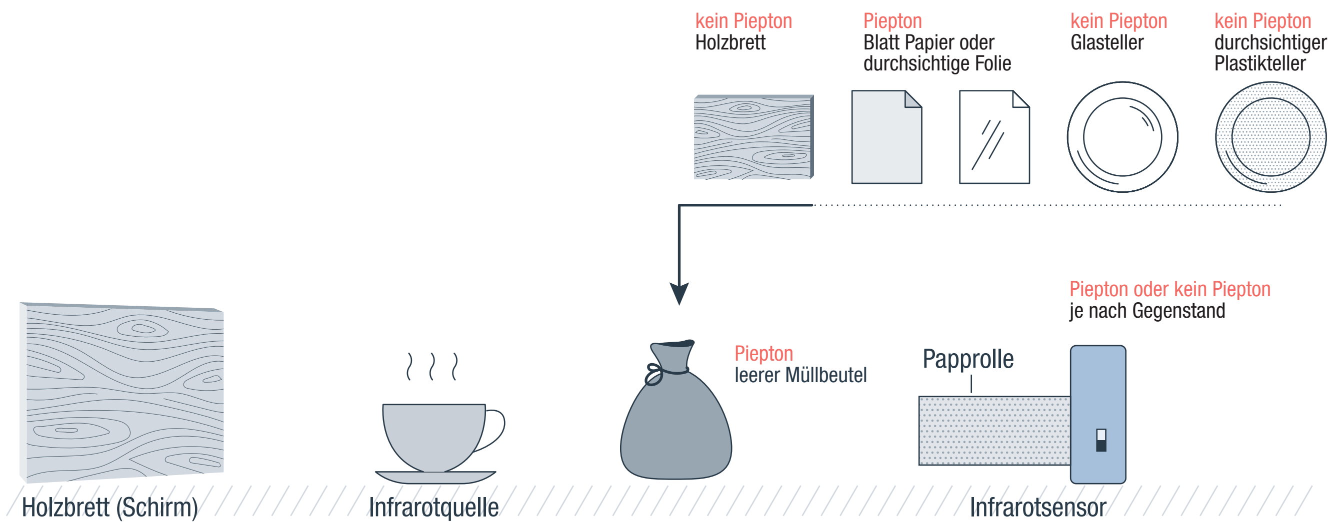
Der Detektor piept, wenn er einen Gegenstand wahrnimmt, der wärmer ist als seine Umgebung.

SCHRITT 2: UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER MATERIALIEN MIT DEM INFRAROTSENSOR

4. Nachdem die Funktionsweise des Infrarotsensors demonstriert wurde, kann nun der eigentliche Versuch beginnen. Der Schirm ist wieder auf Raumtemperatur und der Sensor piept, wenn die Hand zwischen Schirm und Sensor geschoben wird. Nun werden verschiedene Gegenstände zwischen die Hand und den Sensor geschoben:
   - ein Holzbrett
   - ein Blatt Papier
   - eine durchsichtige Folie
   - eine Glasplatte
   - ein Müllbeutel, usw.

Bei manchen Gegenständen piept der Sensor und bei anderen nicht. Daraus kann man schließen, dass **manche Gegenstände das von der Hand ausgehende Signal stoppen können und andere nicht.**

Das Signal wird also nicht durch sichtbares Licht ausgelöst, sondern durch Strahlung, die unsere Augen nicht wahrnehmen können: Diese Strahlung wird **Infrarotstrahlung** genannt. Es gibt durchsichtige Gegenstände, die das Signal stoppen können (zum Beispiel eine Glasplatte).



Verschiedene Gegenstände zwischen die Infrarotquelle und den Infrarotsensor platzieren

Bei manchen Gegenständen piept der Sensor, bei anderen nicht.

WISSENSCHAFTLICHER HINTERGRUND: DAS LICHTSPEKTRUM

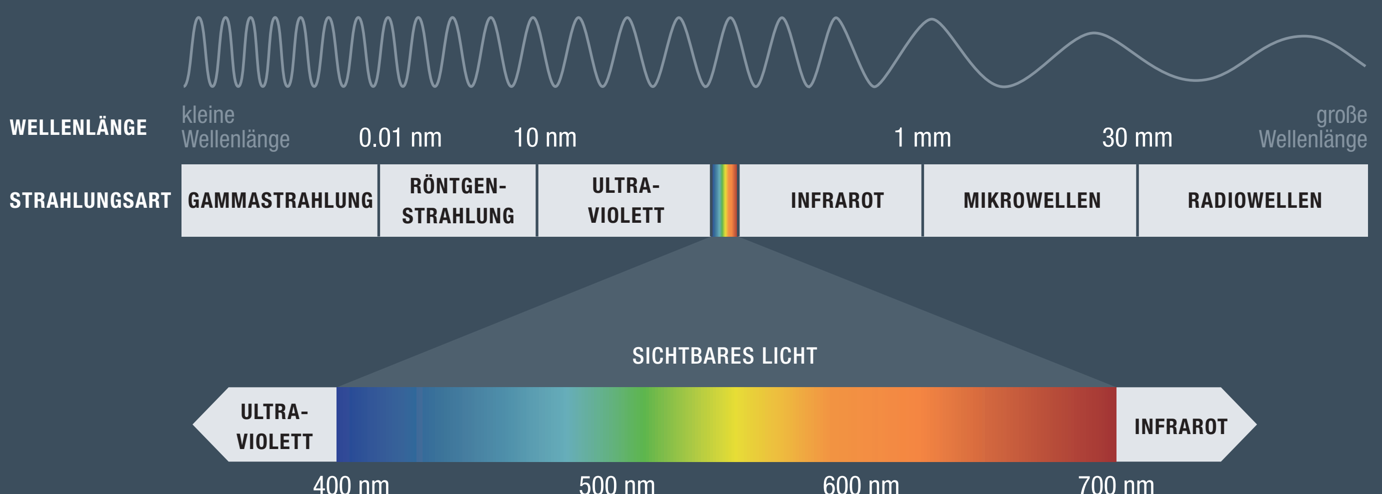
Unsere Augen können nur einen Teil des Lichtspektrums sehen.

Die sichtbaren und unsichtbaren Teile des Lichts

Das Licht setzt sich aus Strahlung verschiedener Wellenlänge zusammen. Mit einem Prisma kann man beobachten, dass die Strahlung je nach ihrer Wellenlänge mehr oder weniger stark abgelenkt wird. Man sieht die verschiedenen Farben des Lichts, die den verschiedenen Wellenlängen entsprechen. Es gibt aber auch Strahlung, die unsere Augen nicht sehen können.

Infrarotstrahlung

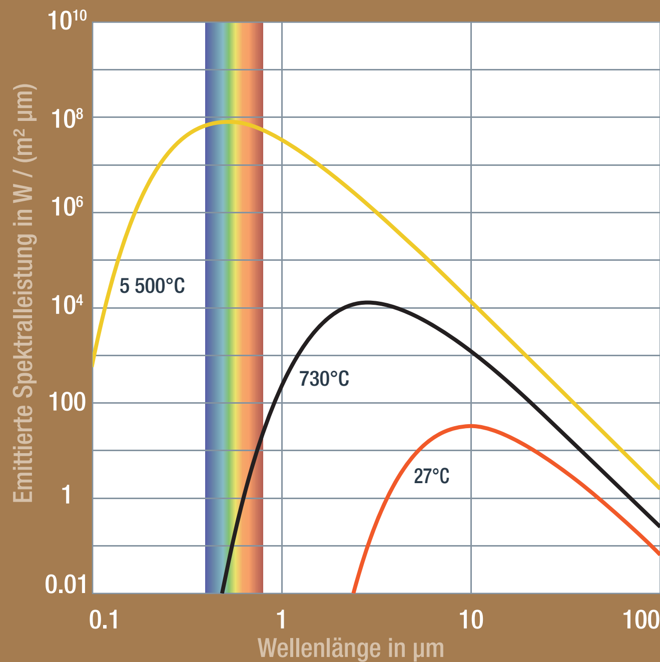
In der Abbildung unten wird das Spektrum des Lichts gezeigt, d. h. seine Aufgliederung in verschiedene Wellenlängenbereiche. Unsere Augen sehen nur einen ganz kleinen Teil des Spektrums: Licht mit Wellenlängen zwischen 400 und 700 Nanometer. Die Infrarotstrahlung – mit Wellenlängen, die größer sind als die Wellenlänge des roten Lichts – ist für uns unsichtbar. Sie kann jedoch mit Geräten, wie dem in unseren Versuchen verwendeten Infrarotsensor, detektiert werden.



WISSENSCHAFTLICHER HINTERGRUND: DIE ERDE ALS SCHWARZER KÖRPER

Jeder Gegenstand gibt Strahlung ab, die von der Temperatur des Gegenstands abhängt. Diese Strahlung wird Strahlung des „schwarzen Körpers“ oder „Wärmestrahlung“ genannt.

Das Spektrum eines schwarzen Körpers zeigt, dass dieser Körper Strahlung aller Wellenlängen aussendet, von Gammastrahlen (große Energie) bis hin zu Radiowellen (geringe Energie). Wie hoch der Anteil der Strahlung einer bestimmten Wellenlänge ist, hängt einzig und allein von der Temperatur des Gegenstands ab. Die Sonne, deren Temperatur rund 5500°C beträgt, sendet vor allen Dingen „sichtbares“ Licht aus (mit einem Maximum im gelben Licht), wenig Ultraviolett- und Infrarotstrahlung und sehr wenig andere Strahlung. Ein Gegenstand, der eine Temperatur von 27°C hat, sendet vor allem Infrarotstrahlung aus. Die Lava, die eine Temperatur von rund 730°C hat, sendet einerseits sichtbare Strahlung aus (man sieht sie, sie ist rot) und andererseits Infrarotstrahlung (man spürt die Wärme).



Spektrum schwarzer Körper
Spektrum der Strahlung, die von einem Körper mit einer Temperatur von 5500°C (die Sonne, gelbe Kurve), 730 °C (Lava eines Vulkans, schwarze Kurve) und 27°C (ein beliebiger Gegenstand mit 27°C, rote Kurve) emittiert wird.

Wie ist diese Grafik zu deuten?
Jede Kurve entspricht dem Spektrum eines schwarzen Körpers bei einer bestimmten Temperatur. Je wärmer ein Körper ist, desto mehr Strahlung sendet er aus (die Kurve ist entlang der Hochachse „höher“). Und je wärmer ein Körper ist, desto weiter befindet sich das Maximum des Spektrums im Bereich kurzer Wellenlängen (im linken Bereich der Rechtsachse). Im Gegensatz dazu gilt: Je kälter ein Körper ist, desto weiter befindet sich das Maximum des Spektrums im Bereich langer Wellenlängen.

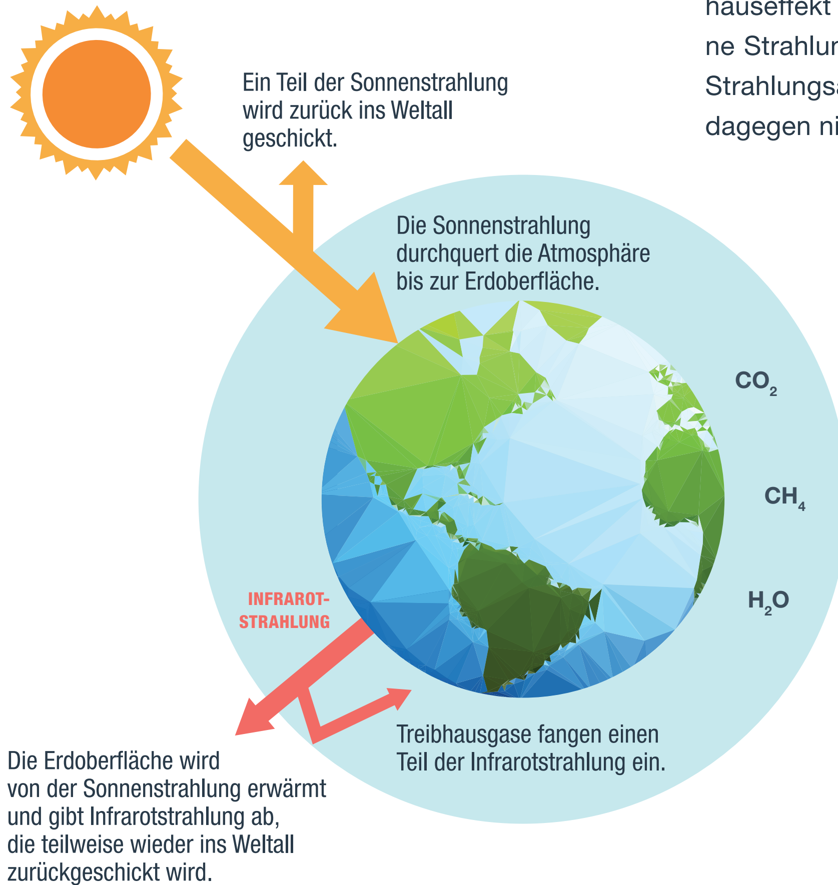
Die Erde ist ein schwarzer Körper, deren Oberflächentemperatur ungefähr +15°C beträgt (aufgrund der Erderwärmung inzwischen +16°C). Bei dieser Temperatur liegt der größte Teil der von der Erdoberfläche emittierten Strahlung im Bereich der Infrarotstrahlung.

SCHRITT 3: WELCHE MATERIALIEN LASSEN INFRAROTSTRAHLUNG DURCH?

5. **Die Gegenstände werden in Kategorien eingeteilt:**
   - Manche lassen sowohl sichtbares Licht als auch Infrarotstrahlung durch (Beispiel: Zellophan).
   - Manche lassen sichtbares Licht durch, sind aber für Infrarotstrahlung undurchsichtig (Beispiel: Materialien mit „Treibhauseffekt“ wie Glas).
   - Manche lassen weder sichtbares Licht noch Infrarotstrahlung durch (Beispiel: Holzbrett).
   - Manche lassen kein sichtbares Licht durch, dafür aber Infrarotstrahlung (Beispiel: Materialien mit „Anti-Treibhauseffekt“ wie der Müllbeutel).
6. Die einzelnen Gruppen kommen auf den Treibhauseffekt zurück und diskutieren, welche Wirkung wohl ein Material hat, das das sichtbare Licht der Sonne durchlässt, aber die von der Erdoberfläche abgegebene Infrarotstrahlung einfängt.
7. Die Gruppen können nun die wichtigen Merkmale des Treibhauseffektes formulieren (siehe „Zusammenfassung: Was ist der Treibhauseffekt?“).

Der Treibhauseffekt

Office for Climate Education,
basierend auf einer Infografik von Lannis



Anhand der oben vorgestellten Versuche lässt sich nicht nachweisen, dass Kohlenstoffdioxid ein Treibhausgas ist. Allerdings sind die Versuche hilfreich, um einige Begriffe im Zusammenhang mit dem Treibhauseffekt besser zu verstehen: dass es verschiedene Strahlungsarten gibt; dass ein Gegenstand für eine Strahlungsart durchsichtig sein kann, für eine andere dagegen nicht, usw.





WISSENSCHAFTLICHER HINTERGRUND: DER TREIBHAUSEFFEKT

1. Der Treibhauseffekt rührt daher, dass sichtbare Strahlung die Atmosphäre praktisch ungehindert durchqueren kann, Infrarotstrahlung dagegen nur zu einem kleinen Teil.
2. Von der Sonne gelangt Energie in Form von sichtbarer Strahlung auf die Erdoberfläche (die Kontinente, die Ozeane, die Kryosphäre). Die Erdoberfläche absorbiert einen Teil dieser Strahlung und erwärmt sich. Die Erdoberfläche gibt ihrerseits Infrarotstrahlung ab (wie jeder schwarze Körper). Ohne Treibhauseffekt würde die von der Erde und der Atmosphäre ins Weltall abgegebene Strahlung genau der einfallenden Strahlung von der Sonne entsprechen: Dieses Gleichgewicht „ohne Treibhauseffekt" würde dazu führen, dass die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche –18 °C beträgt.
3. Wenn sich in der Atmosphäre jedoch „Treibhausgase" befinden, wird ein Teil der von der Erdoberfläche abgegebenen Infrarotstrahlung von der Atmosphäre absorbiert und anschließend in alle Richtungen ausgestrahlt. Ein Teil dieser Strahlung gelangt wieder an die Erdoberfläche, der andere Teil gelangt ins Weltall.
4. Ohne Treibhauseffekt würde die Infrarotstrahlung von der Erdoberfläche (die wärmer ist als die Atmosphäre) direkt ins Weltall emittiert werden; mit dem Treibhauseffekt wird die von der Erdoberfläche abgegebene Strahlung aber von der Atmosphäre „eingefangen", und die Atmosphäre (die kälter ist als die Erdoberfläche) gibt Infrarotstrahlung ins Weltall ab. Der Treibhauseffekt verringert somit die vom System Erdoberfläche-Atmosphäre ans Weltall abgegebene Strahlung.
5. Das System Erdoberfläche-Atmosphäre erwärmt sich, bis ein neues Temperaturgleichgewicht erreicht ist, d. h. bis sich Strahlungsabsorption und Strahlungsemission wieder ausgleichen. Aufgrund dieses natürlichen Treibhauseffektes beträgt die mittlere Temperatur an der Erdoberfläche im Mittel +15°C.

! Diese detaillierte Beschreibung des Treibhauseffektes ist für Schüler an Grundschulen und in der Sekundarstufe I in der Regel zu schwierig. Für sie reicht meist eine einfache Analogie aus: Die Treibhausgase in der Atmosphäre sind wie eine Decke, unter der man liegt. Sie fangen einen Teil der Wärme ein, die von der Erdoberfläche abgegeben wird – genau wie die Decke einen Teil der vom Körper abgegebenen Wärme einfängt.

TEIL 4

Zusammenfassung: Was ist der Treibhauseffekt?

Zum Schluss kommt die Ausbilderin auf die Anfangsvorstellungen der Lehrkräfte zurück (Texte, schematische Darstellungen und mündliche Kommentare) und bittet die einzelnen Gruppen, diese Vorstellungen nachzubessern und zu erklären, warum einige Fehlvorstellungen so häufig auftreten.

— In Darstellungen im Internet und in Schulbüchern wird die von der Sonne kommende, einfallende Strahlung (sichtbares Licht) oft durch einen Pfeil dargestellt, an dem der Pfeil hängt, der die von der Erdoberfläche abgegebene Infrarotstrahlung darstellt. Dadurch wird der Eindruck erweckt, dass es sich um eine Reflektion handelt (der dargestellte Winkel entspricht oft auch der Reflektion von Licht an einem Spiegel).

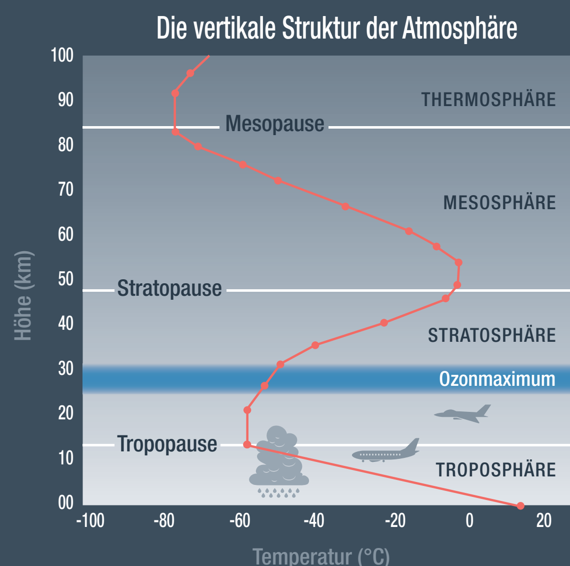
— Die Verwechslung mit dem Phänomen des Ozonlochs taucht auch häufiger auf. Das hat mehrere Gründe. In beiden Fällen kommt in der Erklärung des Phänomens unsichtbares Licht vor (UV, IR), und in beiden Fällen spielen ganz bestimmte Bestandteile der Atmosphäre (Ozon, Treibhausgase) eine Rolle.

— Außerdem haben beide Phänomene mit der durch menschliche Aktivitäten verursachten Verschmutzung der Atmosphäre zu tun (Fluorchlorkohlenwasserstoffe, Treibhausgase). Für beide gibt es internationale Verhandlungen, und beide beeinträchtigen unsere Gesundheit und die Umwelt. Verwirrend ist auch, dass Ozon selbst ein Treibhausgas ist und dass sich der Klimawandel auf die Neubildung von Ozon in der Atmosphäre auswirkt. Es ist daher nicht erstaunlich, dass diese beiden Phänomene so häufig verwechselt werden.

Die Gruppen erstellen zum Schluss eine schematische Darstellung zur Erklärung des Treibhauseffektes – ähnlich wie das Bild auf S. 12.

WISSENSCHAFTLICHER HINTERGRUND: DIE OZONSCHICHT

Die unterste Schicht der Atmosphäre – die Schicht, in der wir leben und in der sich die meisten Wettererscheinungen ereignen – wird Troposphäre genannt. Sie umfasst mehr als 80% der gesamten Masse der Atmosphäre. Am Äquator ist die Troposphäre dicker als an den Polen. Über dieser Schicht befindet sich die Stratosphäre, in der sich zwischen 15 und 30 km die berühmte „Ozonschicht“ befindet. In Wirklichkeit findet man Ozon überall, aber in der Stratosphäre ist die Ozonkonzentration besonders hoch. Ozon absorbiert die UV-Strahlung der Sonne und verhindert, dass sie zur Erdoberfläche gelangt. Der massive Einsatz von Kältemitteln (CFKW – Chlorfluorkohlenwasserstoffen) führt zur Zerstörung dieser Ozonschicht, was für das Leben auf der Erde eine Bedrohung darstellt. Seit der Unterzeichnung des Montreal-Protokolls im Jahr 1985 ist die Verwendung von CFKW verboten. Das hat dazu geführt, dass sich das „Loch“ in der Ozonschicht langsam wieder schließt.



TEIL 5

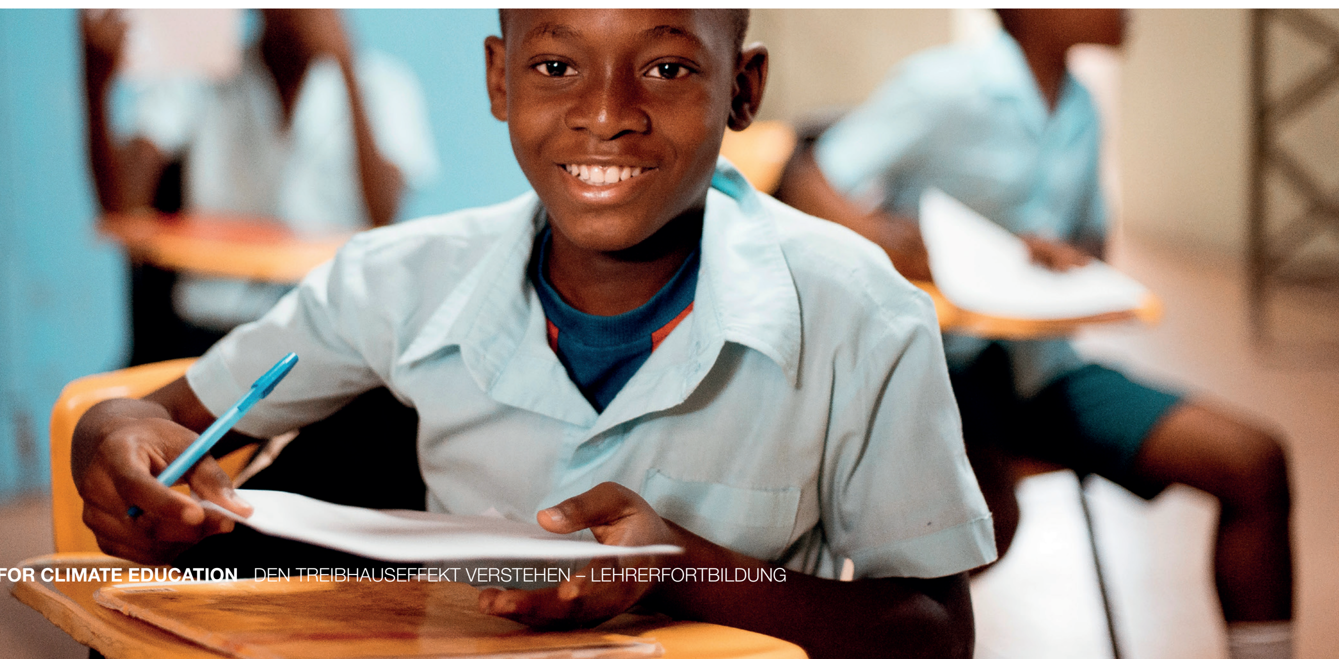
Vom Treibhauseffekt zum Klimawandel

UNTERSUCHUNG VERGANGENER KLIMAVERÄNDERUNGEN

Anstatt den Treibhauseffekt anhand von Experimenten zu erkunden, kann man auch Anschauungsmaterial untersuchen. Die Ausbilderin kann zum Beispiel Diagramme oder Tabellen mit Daten austeilen, in denen die Entwicklung der mittleren globalen Temperatur der Erde sowie die Entwicklung der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre im Verlauf der letzten 1000 Jahre dargestellt sind.
Beide Kurven (Temperatur der Erde und CO_2-Konzentration in der Atmosphäre) zeigen einen ähnlichen Verlauf: Ab dem 19. Jahrhundert steigen sie zunächst langsam und dann immer steiler an. Es bietet sich ein Exkurs in die Geschichte der Industriellen Revolution an, der den Zusammenhang zwischen der globalen Erwärmung, der Entwicklung der Weltbevölkerung und der Verwendung fossiler (kohlenstoffhaltiger) Energiequellen verdeutlicht.
Eine solche Untersuchung von Anschauungsmaterial bietet die Gelegenheit, die Themen „Informationsquellen“ (Woher stammen die Daten? Sind sie vertrauenswürdig?) und „Kausalzusammenhänge“ anzusprechen.

Hier wurde der Sachverhalt herausgestellt, dass zwei Größen gleichermaßen variieren, was darauf hindeutet, dass sie miteinander verknüpft zu sein scheinen. Es ist damit jedoch nicht bewiesen, dass sie tatsächlich zusammenhängen. An dieser Stelle sollte die Ausbilderin explizit auf den Unterschied zwischen Korrelation und Kausalzusammenhang aufmerksam machen. Sie kann sagen: „Diese Untersuchung zeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen diesen beiden Phänomenen zu geben scheint. Es lohnt sich, diesem Zusammenhang auf den Grund zu gehen – zum Beispiel durch einen Versuch, der zeigt, dass CO_2 ein Treibhausgas ist.“

Um die Problematik zu illustrieren, kann die Ausbilderin erwähnen, dass es eine erstaunlich hohe positive Korrelation gibt zwischen dem Konsum von Schokolade pro Einwohner eines Landes und der Anzahl von Nobelpreisträgern dieses Landes. Die zwei Kurven sind fast deckungsgleich. Es wäre jedoch gewagt, daraus zu schließen, dass der Verzehr von Schokolade dazu beiträgt, einen Nobelpreis zu bekommen! **Eine gute Korrelation ist kein ausreichender Beweis für einen Kausalzusammenhang.**





Mögliche Fortsetzungen

Sollte der Ausbilderin eine weitere Stunde für die Schulung zur Verfügung stehen, kann sie einige Kenntnisse zum Treibhauseffekt vertiefen. Die Dauer des Workshops beträgt in diesem Fall insgesamt vier Stunden.

DER STRAHLUNGSANTRIEB

Fühlt sich die Ausbilderin in dieser Thematik sicher, kann sie auf die natürlichen Ursachen der Klimaänderungen eingehen, insbesondere auf die astronomisch bedingte Klimavariabilität und die Milanković-Zyklen (Exzentrizität der Erdumlaufbahn, Änderung der Neigung und Präzession der Erdachse).

Die Ausbilderin verdeutlicht die verschiedenen Zeitskalen dieser Zyklen sowie ihre Überlagerung und zeigt den Zusammenhang zwischen dieser astronomisch bedingten Klimavariabilität und den Klimaänderungen der letzten 800 000 Jahre. Die Ausbilderin erklärt, dass Homo sapiens erst spät in Erscheinung trat (vor etwa 200 000 bis 300 000 Jahren), so dass Auswirkungen des Menschen auf das damalige Klima ausgeschlossen werden können. Sie weist die Lehrkräfte auf die Temperaturunterschiede zwischen Kalt- und Warmzeiten hin sowie auf die lange Dauer dieser Übergänge. Den Lehrkräften wird damit bewusst, dass gar nicht so sehr das Ausmaß des gerade stattfindenden Klimawandels das Besondere ist, sondern die Geschwindigkeit, mit der er erfolgt. Diese Feststellung kann die Lehrkräfte dazu bringen, erneut über die Folgen dieser schnellen Veränderungen (zum Beispiel für die Biodiversität) zu diskutieren.

DOKUMENTARISCHE UNTERSUCHUNG DER AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS

Die Ausbilderin kommt auf die vergangenen Klimaänderungen sowie auf die seit einem Jahrhundert beobachtete, menschengemachte Erderwärmung zurück (siehe die dokumentarische Untersuchung auf der vorherigen Seite).

Die Lehrkräfte sollen die bereits erkennbaren Folgen des Klimawandels aufzählen. Die am häufigsten genannten Folgen sind **der Anstieg des Meeresspiegels, das Schmelzen der Gletscher und des Meereises, die Umsiedlung von Bevölkerungsgruppen, der Rückgang landwirtschaftlicher Erträge, usw.**

Die Ausbilderin beendet die Fortbildung, indem sie Anschauungsmaterial (Fotos, Grafiken usw.) zeigt, auf denen verschiedene Auswirkungen des Klimawandels zu erkennen sind.

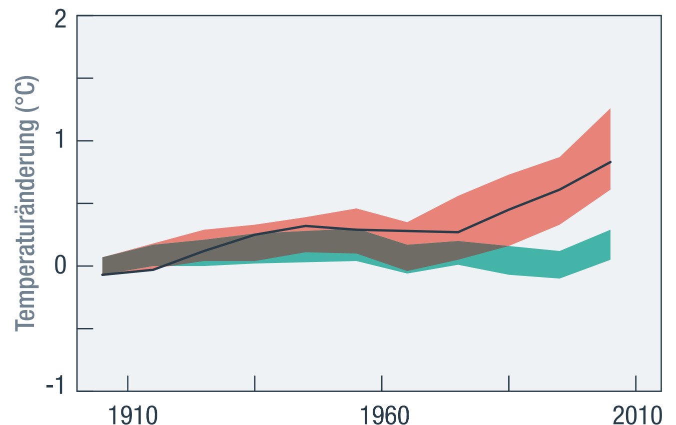
„BEWEIS“ FÜR DEN ANTHROPOGENEN URSPRUNG DES KLIMAWANDELS

Die Ausbilderin erklärt nun, dass der Treibhauseffekt ein natürliches Phänomen ist und dass dabei Wasserdampf als Treibhausgas eine wichtige Rolle spielt.

Sie stellt ein Argument vor, das lange Zeit von Klimawandelskeptikern verwendet wurde (und immer noch verwendet wird): „Der Klimawandel hängt einzig und allein mit den Sonnenzyklen zusammen“. Man kann allerdings ganz einfach beweisen, dass dies nicht stimmt:

— Sollte sich die Erde aufgrund vermehrter Sonnenaktivität (= es trifft mehr Energie von der Sonne auf die Erde) erwärmen, dann müssten sich die obere und die untere Schicht der Atmosphäre gleichermaßen erwärmen. Man beobachtet aber, dass sich die untere Atmosphäre erwärmt, während sich die obere Atmosphäre abkühlt.
— Der Treibhauseffekt ist der einzige bekannte Mechanismus, der dieses Phänomen erklären kann. Die Ausbilderin holt noch einmal die schematische Darstellung des Treibhauseffektes hervor und erklärt, dass die Treibhausgase teilweise verhindern, dass die von der Erdoberfläche abgegebene Infrarotstrahlung die obere Atmosphäre erreicht: Es kommt zu einer Erwärmung der unteren Atmosphäre und zu einer Abkühlung der oberen Atmosphäre.

An dieser Stelle kann die Ausbilderin auf die Klimamodelle eingehen (mithilfe entsprechender Grafiken) oder/und auch den Sachverhalt, dass sich anhand der **Klimamodelle** die seit einem Jahrhundert beobachtete Erderwärmung gut erklären lässt – allerdings nur dann, wenn man sowohl die natürlichen Effekte als auch die anthropogenen Treibhausgasemissionen einbezieht. Wenn man nur die natürlichen Effekte berücksichtig, lässt sich die beobachtete Erderwärmung nicht erklären.



Änderung der globalen Temperatur (Ozean und Erdoberfläche). Graue Kurve: beobachtete Temperaturänderung, türkise und rosa Kurve: Simulation mit Klimamodellen (türkis: nur natürliche Effekte, rosa: natürliche und anthropogene Effekte). Die Temperaturänderung ist in Bezug auf den Temperaturmittelwert 1880-1919 angegeben.
Basierend auf dem 5. Sachstandsbericht des IPCC

- Simulation der Erderwärmung – nur natürliche Klimaschwankungen
- Simulation der Erderwärmung – natürliche Klimaschwankungen und anthropogene Effekte



WEITERE FORTBILDUNGSMATERIALIEN

Diese Fortbildung zum Treibhauseffekt kann ein interessanter Einstieg für weitere Fortbildungen sein:
— zum Zusammenhang zwischen Klima, Ozean und Kryosphäre,
— zu Klimaschutz und die Anpassung an den Klimawandel.



„Die Parteien sollten Maßnahmen ergreifen […], um die Klimabildung zu verbessern“, heißt es in Artikel 12 des Klima-Abkommens von Paris. *„Die heutigen und zukünftigen Generationen über den Klimawandel aufzuklären und sie zu lehren, mit kritischem Verstand und hoffnungsvollen Herzens zu handeln, ist für die Zukunft der Menschheit von entscheidender Bedeutung. Der naturwissenschaftliche Unterricht muss sich der Herausforderung stellen […]*“, so empfehlen es die 113 wissenschaftlichen Akademien der Welt in ihrer jüngsten Erklärung zu Klimawandel und Bildung.

Diesem dringenden Aufruf folgend, haben Klimawissenschaftler und Pädagogen das **Office for Climate Education** (OCE) gegründet. Lehrerinnen und Lehrer sind der Schlüssel zur Umsetzung dieser Empfehlungen. Das OCE erstellt deshalb Bildungsressourcen speziell für die Schule. Diese Bildungsressourcen basieren auf einer aktiven Pädagogik und bauen auf bereits bestehenden Pilotprojekten auf, die forschend-entdeckendes Lernen in den Vordergrund stellen.

So wie das IPCC „Sachstandsberichte“ und „Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger“ erstellt, wird das OCE zeitgleich „Ressourcen und Werkzeuge für Lehrende“ erstellen, insbesondere zu den Themen Anpassung und Klimaschutz. Das OCE setzt einen besonderen Fokus auf Entwicklungsländer. Es arbeitet eng mit Klimawissenschaftlern, Sozialwissenschaftlern und Pädagogen zusammen.

Das OCE hat ein Exekutivsekretariat in Paris und wird von einem globalen Netzwerk von Partnern in über 20 Ländern unterstützt. Die Lehrmaterialien werden gemeinsam konzipiert und anschließend vor Ort getestet und an besondere Kontexte angepasst. Es gibt bereits zahlreiche Initiativen, die in diese Richtung gehen – das OCE sammelt und verbreitet diese Initiativen.

Das Office for Climate Education wurde 2018 mit Unterstützung öffentlicher und privater Mittel französischer und deutscher Partner gegründet. Das OCE wird in den kommenden Jahren seine Aktivitäten ausweiten und seine Partnerschaften ausbauen, insbesondere mit dem IPCC und dem Inter-Academy Panel for Science (IAP), dem Zusammenschluss weltweiter Wissenschaftsakademien.

http://oce.global
contact@oce.global
Office for Climate Education
Institut Pierre-Simon Laplace,
Case 101
4, place Jussieu
75252 Paris Cedex 05
Frankreich





















